



PATENT  
2760-1-005

**IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE**

APPLICANTS : Juan Miguel GAVILLERO MARTÍN *et al*  
SERIAL NO. : 10/718,143  
FILED : November 20, 2003  
FOR : PROCESS FOR SYNCHRONIZATION IN THE  
DOWNSTREAM OF MULTIPLE USERS IN A POINT TO  
MULTIPOINT SYSTEM WITH OFDM MODULATION

**PETITION FOR GRANT OF PRIORITY UNDER 35 USC 119**

Commissioner for Patents  
P.O. Box 1450  
Alexandria, VA 22313-1450

Dear Sir:

Applicant hereby petitions for grant of priority of the present Application on the basis of the following prior filed foreign Application:

<u>COUNTRY</u>	<u>SERIAL NO.</u>	<u>FILING DATE</u>
Spain	P200101154	May 21, 2001

To perfect Applicant's claim to priority, a certified copy of the above listed prior filed Application is enclosed.

Acknowledgment of Applicant's perfection of claim to priority is accordingly requested.

Respectfully submitted,

Stefan J. Klauber  
Attorney for Applicant  
Registration No. 22,604

KLAUBER & JACKSON  
411 Hackensack Avenue  
Hackensack, NJ 07601  
(201)487-5800





MINISTERIO  
DE CIENCIA  
Y TECNOLOGIA



# CERTIFICADO OFICIAL

Por la presente certifico que los documentos adjuntos son copia exacta de la solicitud de PATENTE de INVENCION número 200101154 que tiene fecha de presentación en este Organismo el 21 de Mayo de 2001.

Madrid, 16 de diciembre de 2003

El Director del Departamento de Patentes  
e Información Tecnológica.

P.D.

CARMEN LENCE REIJA





MINISTERIO  
DE CIENCIA  
Y TECNOLOGÍA

AM



Oficina Española  
de Patentes y Marcas

# INSTANCIA DE SOLICITUD

NÚMERO DE SOLICITUD

P200101154

(1) MODALIDAD:

☒ PATENTE DE INVENCION ☐ MODELO DE UTILIDAD

FECHA Y HORA DE PRESENTACIÓN EN LA O.E.P.M.

01 MAY 21 13:41

(2) TIPO DE SOLICITUD:

- ☐ ADICIÓN A LA PATENTE  
☐ SOLICITUD DIVISIONAL  
☐ CAMBIO DE MODALIDAD  
☐ TRANSFORMACIÓN SOLICITUD PATENTE EUROPEA  
☐ PCT: ENTRADA FASE NACIONAL

(3) EXP. PRINCIPAL O DE ORIGEN:

MODALIDAD .....  
N.º SOLICITUD .....  
FECHA SOLICITUD ...../...../.....

FECHA Y HORA PRESENTACIÓN EN LUGAR DISTINTO O.E.P.M.

(4) LUGAR DE PRESENTACIÓN: CÓDIGO

(5) SOLICITANTE (S): APELLIDOS O DENOMINACIÓN SOCIAL

DISEÑO DE SISTEMAS EN SILICIO, S.A.

NOMBRE Y APELLIDOS

ESPANOLA

CÓDIGO PAÍS

ES

DNI/CIF

A12469821

CNAE PYME

(6) DATOS DEL PRIMER SOLICITANTE:

TELÉFONO

DOMICILIO Charles Robert Darwin, nº 2 Parque Tecnológico

LOCALIDAD PATERNA

PROVINCIA VALENCIA

PAÍS RESIDENCIA ESPAÑA

NACIONALIDAD ESPAÑOLA

CORREO ELECTRÓNICO

CÓDIGO POSTAL

46980

CÓDIGO PAÍS

ES

CÓDIGO PAÍS

ES

(7) INVENTOR (ES):

APELLIDOS

NOMBRE

NACIONALIDAD

CÓDIGO PAÍS

GAVILLERO MARTÍN  
RIVEIRO INSUA  
IRANZO MOLINERO  
HAKAN FOUREN

JUAN MIGUEL  
JUAN CARLOS  
SALVADOR  
NILS

ESPAÑOLA  
ESPAÑOLA  
ESPAÑOLA  
SUECA

ES  
ES  
ES  
SE

(8) ☐ EL SOLICITANTE ES EL INVENTOR

☒ EL SOLICITANTE NO ES EL INVENTOR O ÚNICO INVENTOR

(9) MODO DE OBTENCIÓN DEL DERECHO:

☒ INVENC. LABORAL

☐ CONTRATO

☐ SUCESIÓN

(10) TÍTULO DE LA INVENCION:

PROCEDIMIENTO PARA LA SINCRONIZACIÓN EN EL ENLACE DESCENDENTE DE MÚLTIPLES USUARIOS EN UN SISTEMA DE TRANSMISIÓN PUNTO A MULTIPUNTO CON MODULACION OFDM

(11) EFECTUADO DEPÓSITO DE MATERIA BIOLÓGICA:

☐ SI ☒ NO

(12) EXPOSICIONES OFICIALES: LUGAR

FECHA

(13) DECLARACIONES DE PRIORIDAD:

PAÍS DE ORIGEN

CÓDIGO PAÍS

NÚMERO

FECHA

(14) EL SOLICITANTE SE ACOGE AL APLAZAMIENTO DE PAGO DE TASAS PREVISTO EN EL ART. 162. LEY 11/86 DE PATENTES ☐

(15) AGENTE/REPRESENTANTE: NOMBRE Y DIRECCIÓN POSTAL COMPLETA. (SI AGENTE P.I., NOMBRE Y CÓDIGO) (RELLÉNESE, ÚNICAMENTE POR PROFESIONALES)

DON JAVIER UNGRIA LOPEZ - 392/1

(16) RELACIÓN DE DOCUMENTOS QUE SE ACOMPAÑAN:

- ☒ DESCRIPCIÓN N.º DE PÁGINAS: 29  
☒ N.º DE REIVINDICACIONES: 18  
☒ DIBUJOS. N.º DE PÁGINAS: 5  
☐ LISTA DE SECUENCIAS N.º DE PÁGINAS: .....  
☒ RESUMEN  
☐ DOCUMENTO DE PRIORIDAD  
☐ TRADUCCIÓN DEL DOCUMENTO DE PRIORIDAD  
☒ DOCUMENTO DE REPRESENTACIÓN  
☒ JUSTIFICANTE DEL PAGO DE TASA DE SOLICITUD  
☒ HOJA DE INFORMACIÓN COMPLEMENTARIA  
☐ PRUEBAS DE LOS DIBUJOS  
☐ CUESTIONARIO DE PROSPECCIÓN  
☐ OTROS: .....

FIRMA DEL SOLICITANTE O REPRESENTANTE

JAVIER UNGRIA

P.P.

(VER COMUNICACIÓN AL DORSO)

FIRMA DEL FUNCIONARIO

NOTIFICACIÓN SOBRE LA TASA DE CONCESIÓN:

Se le notifica que esta solicitud se considerará retirada si no procede al pago de la tasa de concesión; para el pago de esta tasa dispone de tres meses a contar desde la publicación del anuncio de la concesión en el BOPI, más los diez días que establece el art. 81 del R.D. 2245/1986.

ILMO. SR. DIRECTOR DE LA OFICINA ESPAÑOLA DE PATENTES Y MARCAS

informacion@oepm.es  
www.oepm.es

C/. PANAMÁ, 1 - 28071 MADRID

MOD. 3101 - 1 - EJEMPLAR PARA EL EXPEDIENTE

NO CUMPLIMENTAR LOS RECUADROS ENMARCADOS EN ROJO



(11) NÚMERO

(12) FECHA

(13) PAÍS

A1

(14) PATENTE DE INVENCION

(15) NÚMERO DE SOLICITUD

P200101154

(16) FECHA DE PRESENTACION

21 de Mayo 2001

(17) SOLICITANTE(S)

DISEÑO DE SISTEMAS EN SILICIO, S.A.

NACIONALIDAD

ESPAÑOLA

DOMICILIO

Parque Tecnológico Charles Robert Darwin, 2 - 46980 PATERNA (Valencia)

(18) INVENTOR(ES)

JUAN MIGUEL GAVILLERO MARTIN, JUAN CARLOS RIVEIRO INSUA, SALVADOR IRANZO MOLINERO, NILS HAKAN FOUREN, FRANCISCO JAVIER JIMENEZ MARQUINA y JORGE VICENTE BLASCO CLARET, todos ellos españoles excepto el cuarto que es sueco

(19) TITULAR(ES)

(20) N.º DE PUBLICACION

(21) FECHA DE PUBLICACION

(22) PATENTE DE LA QUE ES DIVISIONARIA

GRAFICO - SOLO PARA INTERPRETAR RESUMEN:

(23) Int. Cl.

7

H04B3/54, H04J11/00

(24) TITULO

PROCEDIMIENTO PARA LA SINCRONIZACIÓN EN EL ENLACE DESCENDENTE DE MÚLTIPLES USUARIOS EN UN SISTEMA DE TRANSMISIÓN PUNTO A MULTIPUNTO CON MODULACIÓN OFDM



FIG. 5

(25) RESUMEN (IMPORTACION VOLUNTARIA EN LA QUE SE INTERESA)

**Procedimiento para la sincronización en el enlace descendente de múltiples usuarios en un sistema de transmisión punto a multipunto con modulación OFDM.-**

Aplicable en la comunicación bidireccional a través de la red eléctrica entre una cabecera y una pluralidad de usuarios y permite la sincronización tanto en tiempo como en frecuencia de los múltiples usuarios en un sistema de comunicación multiportadora OFDM (multiplexación por división ortogonal en frecuencia). Se caracteriza porque comprende generar secuencias de sincronismo mediante dos símbolos de sincronismo idénticos (16), que se transmiten periódicamente desde el equipo de cabecera por el enlace descendente a los usuarios, para estimar y corregir la frecuencia de muestreo y simultáneamente estimar el momento en que comienza cada símbolo OFDM.

**PROCEDIMIENTO PARA LA SINCRONIZACIÓN EN EL ENLACE DESCENDENTE DE MÚLTIPLES USUARIOS EN UN SISTEMA DE TRANSMISIÓN PUNTO A MULTIPUNTO CON MODULACIÓN OFDM**

**CAMPO TÉCNICO DE LA INVENCION**

5                   La invención pertenece al sector de las telecomunicaciones, y más concretamente es aplicable en la comunicación bidireccional entre una cabecera y una pluralidad de usuarios para realizar la sincronización del canal descendente, determinado por el enlace desde la  
10 cabecera con los usuarios, empleando como medio de transmisión la red eléctrica, de modo que por ella se puedan ofrecer múltiples servicios a los usuarios.

**OBJETO DE LA INVENCION**

15                   La presente invención tiene por objeto proporcionar un nuevo procedimiento altamente seguro de sincronización en tiempo y frecuencia para el canal descendente a través de la red eléctrica de forma que evita los problemas inherentes a la gran cantidad de ruido y a la selectividad en frecuencia que son problemas típicos que se  
20 producen en la transmisión de datos a través de la red eléctrica, y por tanto se evita que se provoquen falsas indicaciones de sincronismo en el canal descendente.

                  Mediante el procedimiento de la invención los receptores de los múltiples usuarios se sincronizan a la  
25 frecuencia utilizada en el emisor de cabecera, a partir de la señal recibida por el enlace descendente. Además, mediante el procedimiento que nos ocupa, el receptor de cada usuario sabe de entre todas las muestras obtenidas, tras el muestreo de la señal recibida, cuáles pertenecen a  
30 un mismo símbolo, es decir, cada receptor de usuario conoce el comienzo de cada símbolo.

                  La invención ha sido especialmente concebida para realizar la sincronización de los múltiples usuarios del sistema especificado en la solicitud de patente  
35 española nº 200003024 referente a "un sistema y

procedimiento de transmisión digital de datos punto a multipunto sobre red eléctrica".

#### ANTECEDENTES DE LA INVENCION

5 En el estado de la técnica son conocidos múltiples métodos de sincronización de señales OFDM, pero ninguno de ellos resulta ser altamente seguro para evitar falsas indicaciones de sincronismo en sistemas punto a multipunto en los que el medio de transmisión empleado es la red eléctrica.

10 Como es sabido el empleo de la red eléctrica como medio de transmisión es problemático, ya que la conexión-desconexión de diferentes aparatos en la red producen picos de tensión y variaciones de impedancia en la línea, de manera que la respuesta del canal varía en el  
15 tiempo.

Entre los métodos de sincronización conocidos  
cabe destacar el descrito en la patente USA 5732113 en la que se especifica un procedimiento de sincronización temporal que utiliza un sólo símbolo de sincronismo con dos  
20 mitades iguales, de manera que para realizar la sincronización se utiliza un número menor de muestras que en la solución propuesta en la presente invención, por lo que los ruidos impulsivos, tan usuales en la red eléctrica, afectan en mayor medida a la sincronización, ya que por definición  
25 son ruidos puntuales que afectan a un pequeño número de muestras, y por tanto afectarán más a este proceso que a la solución propuesta mediante la presente invención, por lo que el método del empleo de un sólo símbolo de sincronismo no es deseable en un sistema de transmisión a través de la  
30 red eléctrica.

También cabe señalar que el empleo de un único símbolo de sincronismo determina que en el cálculo o estimación del sincronismo exista una mayor varianza al emplearse un número menor de muestras para realizar la  
35 sincronización.



El concepto de utilizar dos símbolos iguales fue publicado por P. Moose en "A technique for orthogonal frequency division multiplexing frequency offset correction. IEEE Trans. on commun., vol.42, pp.2908-2914, October 1994", pero estos símbolos jamás han sido utilizados para realizar el sincronismo temporal, tal y como sucede en la invención que nos ocupa, sino que los utiliza Moose para estimar el error en frecuencia de traslación analógica.

Por último, es conocido realizar la sincronización en frecuencia mediante el arcotangente de la correlación para corregir el error en la frecuencia de traslación analógica, tal y como por ejemplo se describe en la patente USA 5732113 o en el propio artículo de Moose. En el caso de la invención que nos ocupa, la sincronización en frecuencia se efectúa mediante la estimación del error en la frecuencia de muestreo de los convertidores analógico/-digitales previstos en cada uno de los receptores de los usuarios, lo que difiere sustancialmente respecto a lo conocido en el estado de la técnica.

#### 20 DESCRIPCIÓN DE LA INVENCION

Para conseguir realizar la sincronización en frecuencia y tiempo a través del canal descendente de múltiples usuarios en un sistema de transmisión punto a multipunto con modulación OFDM a través de la red eléctrica, la invención comprende el envío de secuencias de sincronismo intercaladas en el resto de la información que se envían a través del canal descendente, el cual está determinado por un enlace desde la cabecera con los usuarios; y se caracteriza porque el procedimiento comprende generar las secuencias de sincronismo mediante dos símbolos de sincronismo idénticos, que se transmiten periódicamente desde el equipo de cabecera por el enlace descendente a todos los equipos de usuario, los cuales detectan en recepción dichas secuencias de sincronismo, y a partir de ellas estiman y corrigen la frecuencia de

muestreo de los convertidores analógico/digitales previstos en los receptores de los usuarios o bien realizan un proceso de remuestreo de la señal digital (sincronización en frecuencia) y simultáneamente estiman el momento en que comienza cada símbolo OFDM (sincronismo temporal).

La detección de las secuencias de sincronismo, según el procedimiento de la invención, se efectúa mediante el maximizado del criterio de máxima verosimilitud que es conocido convencionalmente, pero con la particularidad de que la sincronización temporal se efectúa a partir del cálculo del máximo de la correlación de las muestras de dos símbolos de la secuencia recibida, siendo este máximo determinado como el punto medio de la zona plana del pico de correlación, cuyo tamaño en número de muestras es igual al número de muestras de prefijo cíclico (prefijo que se añade convencionalmente para evitar interferencias entre símbolos) sin interferencia entre símbolos (ISI) y la sincronización de frecuencia se realiza a partir del cálculo del ángulo de esa correlación en el instante determinado como máximo de correlación.

El máximo de la correlación se calcula mediante la detección de los picos de correlación que sobrepasan un umbral previamente definido sobre la potencia de la señal recibida, tomando como valor de este máximo el punto medio de la zona plana del pico de la correlación cuyo tamaño en número de muestras es igual al número de muestras de prefijo cíclico sin ISI, fijándose el valor de dicho umbral en un valor que minimiza la probabilidad de adquisición de sincronismo debida a una falsa alarma (normalmente por los ruidos impulsivos que afectan la transmisión por la red eléctrica); y calculándose la correlación  $\gamma(m)$  mediante el siguiente algoritmo:

$$\gamma(m) = \sum_{k=m}^{m+L-1} r(k) r^*(k+n)$$

siendo  $m$  el instante de cálculo de la correlación,  $r(k)$  la muestra recibida en el instante  $k$ ,  $r^*(k+n)$  la compleja conjugada de la muestra recibida en el instante  $k+n$ ,  $l=N$  y  $n=N+L$ , siendo  $N$  el número de muestras de uno de los  
 5 símbolos de la secuencia de sincronismo y  $L$  el número de muestras de prefijo cíclico en un símbolo OFDM. Este algoritmo de la correlación es la correlación matemática de dos intervalos de  $N$  muestras separados  $N+L$  muestras de la señal recibida.

10 Y calculándose la potencia mediante el algoritmo siguiente:

$$\xi(m) = \frac{1}{2} \sum_{k=m}^{m+l-1} (|r(k)|^2 + |r(k+n)|^2) \cong \sum_{k=m}^{m+l-1} |r(k)|^2$$

esto es, la potencia puede calcularse como el módulo al  
 15 cuadrado de las muestras recibidas por el equipo.

El procedimiento de la invención comprende la realización del cálculo de la correlación y potencia de forma iterativa. En este caso la correlación calculada de forma iterativa se referencia mediante  $P(d)$  y la potencia calculada en forma iterativa se referencia mediante  $R(d)$ ,  
 20 donde  $d$  es el instante de cálculo de la correlación. En este caso se almacenan las muestras obtenidas en el receptor y además se almacenan preferentemente los productos parciales; realizándose el cálculo iterativo de la  
 25 correlación  $P(d)$  mediante el algoritmo siguiente:

$$P(d) = P(d-1) + (r_d r_{d-(N+L)}^* - r_{d-N} r_{d-(N+L)-N}^*)$$

Y el cálculo de la potencia  $R(d)$  mediante el algoritmo siguiente:

30

$$R(d) = R(d-1) + |r_d|^2 - |r_{d-N}|^2$$

en donde  $r_d$  es la muestra actual,  $r_{d-N}$  la muestra que llegó al receptor  $N$  muestras antes,  $N$  es el número de muestras de  
 35 uno de los símbolos de la secuencia de sincronismo;  $r_{d-(N+L)}^*$

la compleja conjugada de la muestra que llegó hace  $N+L$  muestras, y  $r_{d-(N+L)-N}^*$  la compleja conjugada de la muestra que llegó hace  $2N+L$  muestras, donde  $L$  es el número de muestras de prefijo cíclico de un símbolo OFDM.

5                   Por tanto el cálculo de la correlación de forma iterativa consiste en sumar al valor de correlación calculado para la muestra anterior el producto de la muestra actual y la compleja conjugada de la muestra recibida  $N+L$  muestras antes, y restarle a su resultado el  
10 producto de la muestra recibida  $N$  muestras antes y la compleja conjugada de la muestra recibida  $2N+L$  muestras antes. De forma similar, el cálculo iterativo de la potencia consiste en sumar al valor de potencia calculado para la muestra anterior el cuadrado de la muestra actual,  
15 al que se resta el cuadrado de la muestra recibida  $N$  muestras antes.

El procedimiento de la invención prevé la utilización únicamente de la parte real de la correlación para simplificar su cálculo, puesto que la parte real es  
20 predominante sobre la imaginaria, siempre y cuando el error en frecuencia sea menor que un cierto umbral.

El procedimiento de la invención realiza la detección de la secuencia de sincronismo mediante la comparación del valor de correlación con el valor de potencia multiplicada por un valor umbral  $C$ , para minimizar  
25 la probabilidad de la adquisición de sincronismo debido a ruidos impulsivos; de manera que se detecta la secuencia de sincronismo y el momento óptimo de muestreo cuando se da la condición de que el módulo de la correlación sea mayor o  
30 igual que el umbral anteriormente comentado por el valor de la potencia obtenido.

Los dos símbolos idénticos de la secuencia de sincronismo están constituidos por información fija y/o pseudoaleatoria, información que se envía en las portadoras  
35 de estos símbolos de sincronismo y que es conocida en

recepción.

Tanto la sincronización de la frecuencia de muestreo como la sincronización en el tiempo en los receptores, comprende una etapa de adquisición y una etapa de seguimiento; incluyendo la etapa de adquisición la búsqueda de un número determinado de secuencias de sincronismo, de manera que una vez detectadas adecuadamente este número determinado de secuencias, se validan y se realiza una corrección gruesa del error de frecuencia, pasando a continuación el procedimiento a la etapa de seguimiento.

Referente a la adquisición del sincronismo temporal, el procedimiento comprende una fase en la que se espera la detección de una secuencia de sincronismo por parte del receptor, y a partir de ella se espera a que llegue un determinado número de secuencias de sincronismo más, espaciadas un determinado número de muestras, puesto que el emisor está periódicamente transmitiendo secuencias de sincronismo; todo ello antes de pasar a la etapa de seguimiento, para reducir la probabilidad de adquisición de sincronismo debida a una falsa alarma.

Tras la adquisición del sincronismo temporal, el procedimiento comprende una fase de seguimiento del sincronismo temporal, en la que se siguen detectando las secuencias de sincronismo transmitidas por el enlace descendente hacia los usuarios, y en la que se realiza una cuenta del número de secuencias no recibidas, que en el caso de superar un cierto límite establecido provoca la vuelta a la fase de adquisición temporal.

Cada vez que llega una secuencia de sincronismo en la fase de seguimiento del sincronismo temporal, el procedimiento de la invención comprende una fase en la que se modifica el instante en que comienza el símbolo OFDM. Esta modificación se realiza mediante la variación del conjunto de muestras que se aplican a una etapa de transformación al dominio de la frecuencia, que convencionalmen-

te está prevista en los receptores de los usuarios, lo que puede producir un desfase o rotación en las constelaciones demoduladas por los usuarios, por lo que el procedimiento comprende una etapa de corrección de dicho desfase. Esta  
5 corrección se efectúa en la ecualización que convencionalmente se realiza en los receptores, para lo que preferentemente, se transmiten secuencias de ecualización tras las secuencias de sincronismo.

El procedimiento de la invención prevé la  
10 posibilidad de suprimir la fase de adquisición del sincronismo de frecuencia para el caso en el que el oscilador empleado en el convertidor analógico/digital del receptor para obtener la frecuencia de muestreo, sea suficientemente preciso.

Referente a la etapa de adquisición del  
15 sincronismo de frecuencia, cabe señalar que ésta se realiza tras la etapa de adquisición del sincronismo temporal, y comprende la estimación del error en la frecuencia de muestreo, a partir del ángulo de la correlación según el  
20 siguiente algoritmo:

$$\angle \gamma(\theta_{opt}) = -2\pi f_c M(N+L) \left( \frac{\Delta f_s}{f_s + \Delta f_s} \right)$$

siendo M el factor de interpolación del módulo interpolador que convencionalmente incluye el transmisor de cabecera y  
25 el factor de diezmado del módulo de diezmado que convencionalmente incluyen los receptores de los usuarios,  $f_c$  la frecuencia de la portadora,  $f_s$  la frecuencia de muestreo y  $\Delta f_s$  el error de dicha frecuencia; y todo ello de manera que el ángulo de correlación se calcula en el instante óptimo  
30 mediante el arcotangente de la razón de la parte imaginaria y la parte real, con lo que a partir de la relación anterior se obtiene  $\Delta f_s$  tomando como el instante óptimo el situado en medio de la zona plana de máximos de la métrica, y repitiéndose estos pasos iterativamente hasta que la  
35 estimación del error de frecuencia de muestreo sea menor

que un cierto umbral.

Por otro lado la etapa de seguimiento del sincronismo en frecuencia comprende utilizar un rotor para compensar la rotación de la constelación en cada portadora, o seguir corrigiendo el error en frecuencia con un elemento corrector, o bien utilizar ambas formas de seguimiento simultáneamente.

Respecto a la primera forma de realizar el seguimiento del sincronismo de frecuencia, cabe señalar que ésta consiste en multiplicar la señal recibida por un rotor que compensa la rotación de la constelación en cada portadora en el dominio de la frecuencia, calculándose el valor del rotor mediante el cálculo de la velocidad de giro de la constelación en cada portadora.

Para realizar el cálculo de la velocidad de giro de la constelación en cada portadora, el procedimiento comprende la transmisión por el enlace descendente de una "rejilla", la cual consiste en que ciertas portadoras de los símbolos tras la secuencia de sincronización se envían con una modulación fija (preferentemente una con bajas necesidades de relación señal a ruido para su demodulación). La posición de las portadoras de la rejilla puede modificarse, de forma que tras cierto periodo de tiempo todas las portadoras han sido obligadas alguna vez a utilizar la modulación fijada (es decir, habrán sido obligadas a ser rejilla). La información que se envía por las portadoras no es conocida a priori por los usuarios, sean o no estos usuarios los destinatarios de la información enviada.

A partir de la rotación máxima en la portadora con mayor frecuencia se fija el periodo máximo entre medidas consecutivas del ángulo girado en cada portadora, de forma que la medida de este ángulo se consigue sin desbordamientos. Denominando  $N_f$  al número máximo de símbolos entre dos medidas consecutivas del ángulo en una

determinada portadora, la rejilla puede distribuirse sobre las  $N$  portadoras del sistema, exigiendo que todas las portadoras pertenezcan a la rejilla una vez durante los  $N_T$  símbolos y que:

5

$$\sum_{i=1}^{N_T} N_i = N$$

es decir, que el sumatorio durante  $N_T$  símbolos del número de portadoras pertenecientes a la rejilla en cada símbolo sea igual al número total de portadoras del sistema. En la ecuación anterior  $N_i$  es el número de portadoras que pertenece a la rejilla en el símbolo  $i$ , de forma que tras  $N_T$  símbolos se obtenga una nueva medida de la velocidad de giro en cada una de las portadoras del sistema.

El equipo de cabecera sigue utilizando las portadoras que están siendo utilizadas como rejilla para transmitir la información que desea (tal y como ocurre en el resto de las portadoras), pero con la particularidad que utiliza la modulación fijada en ellas. Los usuarios, tanto el que es destino de la información enviada en las portadoras de la rejilla como el resto, conocen la modulación empleada en las portadoras y pueden recuperar la información, utilizando esta recepción para realizar la estimación de la velocidad de giro en las portadoras de la rejilla.

El equipo de usuario demodula la información enviada por las portadoras de la rejilla (puesto que conoce la modulación que se usó en ellas, tanto si él es el destino como si no) y estima la desviación angular comparando el punto de la constelación recibida con el punto de la constelación que estima que se transmitió. Realizando la diferencia entre este ángulo y el calculado  $N_T$  símbolos antes (dependiendo de los parámetros de configuración de la rejilla) y dividiendo por el número de símbolos entre ambas medidas, se obtiene una estimación de la velocidad de giro de la constelación en la portadora donde se calcularon los ángulos rotados.



La segunda forma de realizar el seguimiento en frecuencia comprende estimar el error en frecuencia mediante la medida del ángulo girado por la constelación de cada una de las portadoras en un símbolo, y corregir este error mediante el elemento corrector de frecuencia, siendo esta medida equivalente al ángulo de la correlación.

El procedimiento descrito permite realizar el sincronismo en tiempo y frecuencia del enlace descendente de forma segura en la transmisión de datos por la red eléctrica.

A continuación para facilitar una mejor comprensión de esta memoria descriptiva y formando parte integrante de la misma, se acompañan una serie de figuras en las que con carácter ilustrativo y no limitativo se ha representado el objeto de la invención.

#### **BREVE ENUNCIADO DE LAS FIGURAS**

Figura 1ª.- Muestra la parte final del diagrama de bloques funcional del transmisor de cabecera mediante el cual se envían las secuencias de sincronismo y los datos según el procedimiento de la invención. Se ha omitido el resto del transmisor por no ser necesario para la comprensión de la invención.

Figura 2ª.- Muestra la parte inicial de los receptores de los usuarios que detectan las secuencias de sincronismo por el canal descendente, para realizar la sincronización de los receptores según el procedimiento de la invención, utilizando un VCXO para realizar la corrección en frecuencia.

Figura 3ª.- Muestra otro posible ejemplo de realización para efectuar la sincronización de los receptores según el procedimiento de la invención utilizando un elemento remuestrador junto con sus filtros para realizar la corrección en frecuencia.

Figura 4ª.- Muestra una representación gráfica de un ejemplo típico de la correlación y la potencia

multiplicada por un umbral de las muestras obtenidas en los receptores. En esta figura se aprecia claramente que el máximo de la correlación se mantiene durante varias muestras obtenidas en el receptor.

5                   **Figura 5ª.-** Muestra un ejemplo de la secuencia de sincronismo enviada por el enlace descendente, que se compone de dos símbolos OFDM idénticos, y que se envían periódicamente cada S símbolos por el enlace descendente.

10                   **Figura 6ª.-** Muestra la forma en que se realiza el cálculo de la correlación y la potencia a partir de las muestras que llegan al receptor mediante buffers circulares.

15                   **Figura 7ª.-** Muestra un diagrama de bloques de un posible ejemplo de realización mediante el cual se efectúa el cálculo de la potencia y la correlación a partir de las muestras que llegan en ese momento al receptor; según el procedimiento de la invención.

20                   **Figura 8ª.-** Muestra una gráfica del giro que se produce en la recepción de una constelación QPSK debido a la diferencia en muestras entre el comienzo del símbolo y la muestra tomada como tal por el receptor.

#### **DESCRIPCIÓN DE LA FORMA DE REALIZACIÓN PREFERIDA**

A continuación se realiza una descripción de la invención basada en las figuras anteriores.

25                   Tal y como ha sido comentado anteriormente, la invención es aplicable en la comunicación bidireccional a través de la red eléctrica entre una cabecera y una pluralidad de usuarios, y tiene por objeto proporcionar un procedimiento que posibilite la sincronización en un sistema punto a multipunto con modulación de multiplexación por división ortogonal en frecuencia (OFDM), tal como el descrito en la solicitud de patente española número 200003024.

35                   Tal y como es conocido en el estado de la técnica, el transmisor de cabecera realiza una traslación de las señales a enviar del dominio de la frecuencia al

dominio del tiempo, lo cual se efectúa mediante un módulo 1 que realiza la inversa de la transformada discreta de Fourier (IDFT). A la salida del módulo 1 se obtienen los símbolos OFDM (modulación de multiplexación por división ortogonal en frecuencia) en banda base y en el dominio del tiempo. La salida de la IDFT se separa en señal en fase I (por ejemplo, la parte real de la salida) y señal en cuadratura Q (la parte imaginaria), las cuales se aplican a un generador de prefijo cíclico 2 que añade un prefijo cíclico a cada símbolo OFDM para evitar la interferencia entre símbolos y para absorber los posibles ecos por la recepción de la señal por múltiples caminos, tal y como se efectúa convencionalmente con esta modulación.

Seguidamente la señal se introduce en un modulador IQ 4 (en fase y cuadratura) previo paso por un interpolador 3 con factor de interpolación M.

A continuación la señal modulada en fase y cuadratura se aplica a un sumador 5 cuya salida se entrega a un convertidor digital/analógico 6 que se conecta con ciertos componentes analógicos (separador, amplificadores y filtros) que permiten introducir la señal en la red eléctrica, a través de la cual se envían las señales a los diferentes usuarios, cuyos receptores toman la señal de la red (gracias a un separador y a unos filtros analógicos) y pasan esta señal a un convertidor analógico/digital 7 cuya salida se aplica a un demodulador IQ 8 que entrega las señales en fase y cuadratura (I y Q) a un diezmador 9 de orden M a través de un filtro paso bajo 10, y a continuación se entrega a un extractor de prefijo cíclico 11 a través de un filtro de remuestreo 12 (en caso de utilizar la implementación con remuestreador), realizándose a continuación la traslación del dominio del tiempo al dominio de la frecuencia mediante el módulo 13 que efectúa la transformada discreta de Fourier (DFT).

En una implementación real existirá un error

en frecuencia de muestreo debido a las diferencias existentes entre los osciladores de los equipos 28a ó 28, dependiendo de la implementación de los equipos, por lo que la frecuencia de muestreo  $f_s$  del convertidor 6 no se corresponde exactamente con la frecuencia de muestreo del convertidor 7. Matemáticamente la frecuencia de muestreo del receptor será  $f_s + \Delta f_s$ , siendo  $\Delta f_s$  la variación de frecuencia provocada por dicha diferencia entre los osciladores de los distintos equipos.

El error en la frecuencia de muestreo provoca que la constelación de cada una de las portadoras de la modulación rote símbolo a símbolo. Además de este problema, los errores en la frecuencia de muestreo pueden provocar a su vez atenuación y ruido en el sistema, por lo que es necesario corregir este error mediante la sincronización de los receptores, para conseguir que la frecuencia de muestreo de los convertidores 7 de los usuarios sea igual a la del convertidor 6.

Además en una implementación real también existirá un error de fase  $\alpha_0$  en las senoides utilizadas para realizar la demodulación IQ efectuada en los demoduladores 8. En este caso el error de fase da lugar a un giro constante en la constelación de cada portadora y en consecuencia puede ser corregido por un ecualizador, por lo que no es necesaria ninguna corrección específica de este error a nivel de sincronización.

También existe el problema de que los receptores no saben exactamente cuál es la muestra de comienzo de un símbolo OFDM, lo cual representa un problema grave, ya que sin esta información no se conoce exactamente cuántas muestras pertenecen al prefijo cíclico y cuántas deberían introducirse en el bloque 13 que realiza la conversión del dominio del tiempo al dominio de la frecuencia. Si las muestras que se introducen en la DFT 13 contienen muestras de varios símbolos distintos, se produce una degradación

significativa de la relación señal a ruido del sistema, lo que genera interferencia entre las portadoras y los símbolos, por lo que es necesario que los receptores de los usuarios conozcan a qué símbolo corresponde cada muestra.

5 Por tanto, es necesario sincronizar en tiempo y frecuencia los receptores de los usuarios, para lo que se envían secuencias de sincronismo desde el transmisor, que son captadas por un módulo de control de sincronización 15, que estima el error en la frecuencia de muestreo y el  
10 instante de inicio de los símbolo OFDM a partir de las muestras obtenidas en la salida del diezmador 9, y todo ello según el procedimiento que a continuación se describe.

El procedimiento de la invención comprende la generación de las secuencias de sincronismo mediante dos  
15 símbolos de sincronismo idénticos 16 que se transmiten periódicamente desde el transmisor de cabecera hasta los receptores de los usuarios. Los dos símbolos de sincronismo idénticos se utilizan para hacer la estimación simultánea del error en la frecuencia de muestreo y del comienzo de  
20 cada símbolo en recepción.

La información transmitida en las portadoras, utilizadas en ambos símbolos de sincronismo, puede ser fija o bien una secuencia pseudoaleatoria, pero siempre ha de ser la misma en ambos símbolos y conocida por el receptor.

25 Para realizar la sincronización de los receptores es necesario, en primer lugar, detectar la secuencia de sincronismo, para lo que el módulo de control de sincronización 15 aplica el criterio de máxima verosimilitud en las muestras obtenidas a la salida del diezmador 9. Este  
30 criterio es conocido en el estado de la técnica en otras aplicaciones, y viene definido por el siguiente algoritmo:

$$\Lambda(\theta, \epsilon) = |\gamma(\theta)| \cos(2\pi\epsilon + \angle\gamma(\theta)) - \rho\xi(\theta)$$

35 donde  $\theta$  es el instante de muestreo,  $\epsilon = \Delta f * (T_s + T_{cp})$  (siendo  $T_s$  el tiempo de transmisión y recepción de un símbolo y  $T_{cp}$

el tiempo del prefijo cíclico) la diferencia entre los osciladores de transmisión y recepción multiplicada por la diferencia temporal entre los dos intervalos que se correlan para buscar su similitud, y

5

$$\rho = \frac{\sigma_s^2}{\sigma_s^2 + \sigma_n^2} = \frac{SNR}{SNR + 1} \approx 1$$

$$\gamma(m) = \sum_{k=m}^{m+l-1} r(k) r^*(k+n)$$

10

$$\xi(m) = \frac{1}{2} \sum_{k=m}^{m+l-1} (|r(k)|^2 + |r(k+n)|^2) \approx \sum_{k=m}^{m+l-1} |r(k)|^2$$

donde  $l$  es el número de muestras de los intervalos cuya similitud buscamos, y  $n$  es el número de muestras que se encuentran desfasados. En nuestro caso  $l=N$  y  $n=N+L$ , siendo  $N$  el número de muestras de uno de los símbolos de la secuencia de sincronismo, y  $L$  el número de muestras de prefijo cíclico. De esta forma  $\gamma$  es la correlación de dos intervalos de  $N$  muestras separados  $N+L$ , y  $\xi$  es la potencia de  $N$  muestras.

20

La función de máxima verosimilitud tiene el máximo cuando lo es el coseno y el módulo de la correlación ( $\gamma$ ).

25

Para la sincronización temporal se utiliza el máximo de la correlación ( $\gamma$ ). De esta forma es posible obtener el instante óptimo:  $\theta_{opt}$

Para la sincronización en frecuencia, el coseno es máximo cuando:

30

$$\hat{\epsilon}(\theta_{opt}) = -\frac{1}{2\pi} \angle \gamma(\theta_{opt}) + n.$$

35

$\epsilon$  no es más que un estimador de la frecuencia de offset al trasladar en banda la señal, es decir, un error en frecuencia igual para todos los tonos (portadoras) de la señal. Tomado  $n=0$  en la ecuación anterior se obtiene que  $\Delta f_s < 1/(T_s + T_{cp})$ , y sustituyendo  $\epsilon$  por su valor, obtendremos

$$\angle \gamma(\theta_{opt}) = -2\pi \Delta f (T_s + T_{cp})$$

Este desarrollo presupone que hay traslado en banda analógico y por tanto el desplazamiento es igual en todas las portadoras. Este tipo de error no existe en la invención al no haber traslado en banda de la señal analógica. Sin embargo, existe error en la frecuencia de muestreo, lo que conlleva un desplazamiento en frecuencia distinto en cada uno de los tonos (portadoras) de la señal. Pero, dado que ese desplazamiento es del mismo signo en todos los tonos (portadoras), sí que sirve como estimador, siendo proporcional a la media de este error. Y en este caso el ángulo de la correlación equivale a:

$$\angle \gamma(\theta_{opt}) = -2\pi f_c M(N+L) \left( \frac{\Delta f_s}{f_s + \Delta f_s} \right), \quad (A)$$

Siendo M el factor de interpolación y diezmado utilizados antes y después de los conversores en transmisión y recepción, respectivamente, y  $f_c$  la frecuencia de la portadora digital.

El error en frecuencia  $\Delta f_s$  puede despejarse fácilmente de la anterior ecuación una vez conocidos los demás factores de la ecuación.

Las secuencias de sincronismo compuestas por dos símbolos de sincronismo idénticos 16, están espaciadas una cantidad de tiempo fija para aumentar la robustez y reducir la probabilidad de detección de sincronismo debido a ruidos impulsivos, de manera que el receptor puede iniciar su sincronización en cualquier momento a partir de esta secuencia. En la figura 4 puede observarse un ejemplo en el que se representa el envío periódico de dos símbolos de sincronismo iguales 16 enviados cada "S" símbolos.

Para realizar la detección de la secuencia de sincronismo, el procedimiento de la invención utiliza la métrica comentada anteriormente en la que en el momento óptimo, la correlación (valor de  $\gamma$ ) y la potencia (valor de

5  $\xi$ ) tienen el mismo valor, y en consecuencia se utiliza la potencia de la señal como umbral para determinar el máximo de la correlación. Cuando se dé la condición  $|\gamma| > C \cdot \xi$  se busca el máximo de la correlación. El umbral  $C$  se ha fijado tratando de minimizar la probabilidad de detección de sincronismos debida a ruidos impulsivos. Con la pareja de símbolos de sincronismo iguales 16, la correlación teóricamente no tiene un único máximo, sino que se trata de un pico con una meseta, tal y como se muestra en la figura 3.  
 10 Esta meseta es tan ancha como muestras libres de interferencia entre símbolos (ISI) haya en el prefijo cíclico. Cualquiera de estas muestras es válida para tomarla como final del símbolo de sincronismo, pues tomar una u otra únicamente afecta provocando un desfase igual para todos  
 15 los símbolos a la salida de la DFT 13. Este desfase es fácilmente corregible por el ecualizador y no produce degradación en la recepción.

20 La forma utilizada para la detección de los picos consiste en tomar la muestra central de la meseta como punto óptimo de sincronización temporal.

La correlación se calcula de forma iterativa, para lo que el módulo de control de sincronización 15 cuenta con un buffer circular 17 de longitud  $N$  en el que se almacena el producto de la muestra actual por la muestra que llegó  $N+L$  muestras antes conjugada, estando el instante actual representado en la figura 6 como la línea vertical 18. Al valor actual de la correlación se le suma este valor y se le resta el que sale del buffer, de manera que se obtiene en la correlación la suma de todas las posiciones de memoria. Aparte del buffer 17, para poder realizar el producto anterior, sería necesario almacenar las muestras en un buffer 19 de longitud  $n=N+L$ .

La representación matemática de este algoritmo sería:

35 
$$P(d) = P(d-1) + (r_d r_{d-(N+L)}^* - r_{d-N} r_{d-(N+L)-N}^*)$$
 Para la correlación



Siendo  $P(d)$  la correlación  $r_d$  la muestra actual,  $r_{d-N}$  la muestra que llegó al receptor  $N$  muestras antes y  $r_{d-(N+L)}^*$  la compleja conjugada de la muestra que llegó al receptor hace  $N+L$  muestras,  $r_{d-(N+L)-N}^*$  la compleja conjugada de la muestra que llegó al receptor hace  $2N+L$  muestras.

El cálculo de la potencia también puede realizarse de forma iterativa siguiendo un proceso equivalente al presentado para la correlación. En este caso el algoritmo utilizado sería

10  $R(d) = R(d-1) + |r_d|^2 - |r_{d-N}|^2$  Para la potencia; siendo  $R(d)$  la potencia,  $r_d$  la muestra actual, y  $r_{d-N}$  la muestras que llegó al receptor  $N$  muestras antes.

Una posible implementación de estos cálculos se muestra en la figura 7, en la que mediante la rama superior 20 se calcula la potencia según el algoritmo indicado, y en la rama inferior 21 se calcula la correlación según el algoritmo señalado. Para lo que tanto en la rama 20 como en la 21 se incluyen bloques de retardo 22 correspondientes a  $Z^{-N}$ ,  $Z^{-1}$ ,  $Z^{-(N+L)}$ , que retrasan su salida el número de muestras que indica su exponente para obtener las fórmulas iterativas anteriores.

La potencia calculada se multiplica por el umbral  $C$  en el multiplicador 23 y el resultado de esta multiplicación pasa a un comparador 24 que compara este resultado con el valor de la correlación obtenido, de modo que mediante un detector de pico 25 se detectan los picos del sincronismo representados en la figura 3, y a partir de la correlación del pico detectado se calcula el ángulo de la métrica consistente en el cálculo de la arcotangente preferentemente mediante un circuito CORDIC 26.

Por tanto, para realizar la adquisición del sincronismo temporal, inicialmente el receptor espera la detección de una secuencia de sincronismo según el procedimiento señalado, y una vez detectada espera que un número determinado de símbolos después,  $S$ , llegue otra secuencia

de sincronismo.

En el caso en el que no se produjese la llegada de esta otra secuencia de sincronismo, se vuelve al estado inicial.

5                   Por el contrario, cuando se han detectado las dos primeras secuencias de sincronismo correctamente, se vuelve a esperar otra secuencia de sincronismo, y así sucesivamente se detectan un cierto número de secuencias de sincronización, momento a partir del cual se asume que los  
10                   símbolos de sincronismo detectados realmente lo son. Si en algún intervalo de muestras en el que se espera detectar una secuencia de símbolos de sincronismo ésta no se detecta, se vuelve al estado inicial. Si se detecta alguna  
15                   secuencia de símbolos de sincronismo fuera del intervalo esperado, ésta es ignorada.

                  Respecto a la etapa de adquisición del  
sincronismo en frecuencia, cabe la posibilidad de que los  
receptores cuenten con un oscilador de alta calidad, y por  
tanto preciso, para proporcionar la frecuencia de muestreo,  
20                   en cuyo caso no es necesaria la etapa de adquisición en frecuencia. En este caso para calcular las métricas a  
maximizar se utiliza únicamente la parte real de la  
correlación, ya que prácticamente la parte imaginaria es  
nula, por lo que no es necesario su cálculo.

25                   Por el contrario, cuando el oscilador que proporciona la frecuencia de muestreo no sea muy preciso, y una vez adquirido el sincronismo temporal, con cada  
secuencia de sincronismo se estima el error en la frecuen-  
cia producido y se corrige mediante un elemento corrector  
30                   de frecuencia consistente en un VCXO 28, que en una implementación puede utilizarse como oscilador de recepción en lugar de un oscilador fijo como el 28a, o bien en un  
elemento remuestreador 27 y los filtros de remuestreo 12  
que se explican más adelante. Para estimar el error en  
35                   frecuencia se calcula el ángulo de la correlación preferen-

temente mediante un CORDIC 26 o circuito similar comentado con anterioridad, que realice el arcotangente del cociente de la parte imaginaria y real de la correlación. Una vez conocido el ángulo de la correlación, se calcula  $\Delta f_s$  despejándolo de la ecuación (A), tal y como fue comentado.

A partir del cálculo del error de frecuencia se inicia un proceso iterativo de corrección de la frecuencia y estimación del error hasta que la estimación sea menor que un umbral predefinido.

En un ejemplo de realización la corrección de frecuencia de muestreo del convertidor analógico/digital 7 se efectúa mediante un oscilador controlado por tensión 28 el cual es gobernado por el módulo de control de sincronización 15 a partir de los cálculos realizados, para conseguir la frecuencia de muestreo adecuada.

También cabe la posibilidad de que el elemento corrector de frecuencia, esté constituido por un remuestreador 27 que se aplica al demodulador IQ 8. En este caso son necesarios filtros de remuestreo 12 para adaptar la señal remuestreada antes de extraer el prefijo cíclico. Estos filtros no son necesarios si se aplica otro método de corrección gruesa del error en frecuencia, como es el caso del empleo del VCXO 28, esto es, el oscilador controlado por tensión para generar la frecuencia de muestreo en recepción.

Respecto a la etapa de seguimiento del sincronismo temporal, ésta se corresponde con la fase en la que el transmisor de cabecera se encuentra en funcionamiento normal transmitiendo datos. Dado que en la etapa de seguimiento ya se conoce dónde se deben recibir las secuencias de sincronismo, si se detecta que falta alguna se aumenta un contador que lleva la cuenta de las secuencias de sincronismo que faltan. Cuando este contador llega a un número límite se vuelve a realizar la adquisición.

Cuando llega la secuencia de sincronismo, se

modifica la cuenta de qué muestras deben entrar en el módulo 13, para lo que el módulo de control de sincronización 15 actúa sobre el extractor de prefijo cíclico 11 y sobre el propio módulo 13, para permitir la entrada en éste de las muestras elegidas. Tras cambiar el instante en que comienza el símbolo es necesario volver a ecualizar mediante el ecualizador, pues cambia el desfase, al cambiar el comienzo de símbolo a otra muestra distinta del prefijo cíclico. Por ello, tras la secuencia de sincronización se incluyen una serie de símbolos de ecualización que se emplean en el ecualizador para realizar dicha ecualización.

Respecto a la etapa de seguimiento de sincronismo en frecuencia, cabe señalar que aún existiendo el elemento corrector en frecuencia, siempre existirá un error residual en la frecuencia de muestreo que produce una rotación en la posición de los puntos de la constelación al demodularla en recepción. Este error es acumulativo, lo cual quiere decir que si después de un símbolo el ángulo girado de una determinada portadora es de  $0'3^0$ , al cabo de diez símbolos el ángulo girado será de  $3^0$ .

En la figura 8 se muestra con una estrella la posición de la muestra sin error, mediante un círculo el punto de la constelación (rotado) tras diez símbolos, y mediante una cruz el observable tras cincuenta símbolos.

Por tanto, si el error residual no se corrige llegará un momento en el que los puntos de la constelación pasen al siguiente cuadrante y sean interpretados erróneamente en recepción como un punto enviado en otro cuadrante.

Para seguir y corregir el error residual, se utiliza un rotor en el dominio frecuencial incluido en el módulo de ecualización. Adicionalmente, a partir del rotor se puede estimar el error en frecuencia de muestreo y esta estimación se puede utilizar como entrada al elemento corrector de frecuencia, sea éste un remuestreador 27 más sus filtros 12 o bien un VCXO 28. La estimación realizada

mediante el rotor es más precisa que la obtenida mediante el arcotangente, tal y como aparece en los puntos anteriores.

Para utilizar el rotor, se debe calcular la  
5 velocidad de giro de la constelación de cada portadora en el dominio frecuencial, y una vez calculada se compensa esta rotación en cada símbolo recibido.

La variación de la repuesta en frecuencia de la red eléctrica no es significativa durante el tiempo de  
10 una veintena de símbolos (gracias al tiempo de símbolo elegido en el diseño del sistema), por lo que se puede suponer que durante cierto tiempo la rotación que se produce en las portadoras es debida únicamente al error residual en estimación de la frecuencia de muestreo, y no a los cambios en  
15 la respuesta del canal. Es por ello que, según una realización de la invención, se ha supuesto que en dieciséis símbolos el efecto del canal sobre el ángulo girado es despreciable frente al ángulo girado debido al error de frecuencia de muestreo.

20 Con esta aproximación, se puede demostrar que la rotación de la fase de la portadora k-ésima de símbolo a símbolo debida al error de frecuencia de muestreo viene definida por:

$$25 \quad \text{Rotación}_k = \begin{cases} -2\pi \frac{\Delta f_s}{f_s + \Delta f_s} \left( \frac{k}{N} + f_c M \right) (N+L), & 0 \leq k < \frac{N}{2} \\ -2\pi \frac{\Delta f_s}{f_s + \Delta f_s} \left( \frac{k}{N} - 1 + f_c M \right) (N+L), & \frac{N}{2} \leq k < N \end{cases}$$

donde  $f_s$  es la frecuencia de muestreo nominal,  $\Delta f_s$  el error  
30 en la frecuencia de muestreo, N el número de muestras del símbolo,  $f_c$  la frecuencia utilizada para la modulación IQ, M el factor de diezmado de los diezmadores 9 y L el número de muestras del prefijo cíclico.

Para corregir la rotación causada por el error residual de frecuencia simplemente hay que multiplicar la  
35 señal recibida por una exponencial compleja con el ángulo

opuesto a la estimación del rotado.

Para realizar el cálculo de la velocidad de giro de la constelación en cada portadora, el procedimiento comprende la transmisión por el enlace descendente de una "rejilla", la cual consiste en que ciertas portadoras de los símbolos tras la secuencia de sincronización se envían con una modulación fija (preferentemente una con bajas necesidades de señal a ruido para su demodulación). La posición de las portadoras de la rejilla puede modificarse, de forma que tras cierto periodo de tiempo todas las portadoras habrán sido obligadas alguna vez a utilizar la modulación fijada (es decir, habrán sido obligadas a ser rejilla). La información que se envía por las portadoras no es conocida por los usuarios, sean o no estos usuarios los destinatarios de la información enviada.

Fijada la rotación máxima producida en la portadora con la mayor frecuencia por diseño del sistema y fijado el valor de  $\Delta f_s$  como el error en la frecuencia de muestreo debido a la diferencia entre los osciladores de transmisión y recepción de los distintos equipos, se fija el periodo máximo entre dos medidas consecutivas del ángulo girado en cada portadora de forma que se puede estimar la velocidad de giro en cada portadora sin producirse solapamientos ni desbordamientos, lo cual se consigue cuando la diferencia de fase entre dos medidas consecutivas del ángulo rotado en la misma portadora es menor que  $180^\circ$  ( $\pi$  radianes). De forma matemática este periodo se puede calcular como:

$$\begin{aligned} (\theta_2 - \theta_1) &< \pi \\ \theta_1 &= 2\pi f_{\max\_error} \tau_1 \\ \theta_2 &= 2\pi f_{\max\_error} (\tau_1 + T) \end{aligned}$$

Con lo que:

$$T_{\max} < \frac{1}{2f_{\max\_error}}$$

El valor  $f_{\max\_error}$  puede ser obtenido a partir de la fórmula del ángulo rotado de la portadora k-ésima de símbolo a símbolo, de forma que:

$$f_{\max\_error} = \frac{\Delta f_s}{f_s + \Delta f_s} \left( \frac{P_{\max\_error}}{N} + f_c M \right)$$

donde  $P_{\max\_error}$  es el índice correspondiente a la portadora más alta,  $f_s$  es la frecuencia de muestreo nominal de los osciladores de los distintos equipos,  $\Delta f_s$  la variación de la frecuencia de muestreo,  $N$  el número de muestras del símbolo,  $f_c$  la frecuencia de portadora, y  $M$  el factor de diezmado.

Tomando el valor entero de la división de este periodo máximo entre dos medidas consecutivas del ángulo girado en las distintas portadoras y el período de símbolo se obtiene:

$$N_T = \left\lfloor \frac{T_{\max}}{T_{\text{símbolo}}} \right\rfloor$$

siendo  $N_T$  el número máximo de símbolos entre dos medidas consecutivas del ángulo en una determinada portadora, de forma que se puede distribuir la rejilla sobre las  $N_T$  portadoras del sistema exigiendo que se cumpla que el número de portadoras de rejilla por símbolo multiplicado por el número de símbolos con rejilla en un periodo de medida (cuyo valor será menor o igual a  $N_T$ ) deba ser igual al número de portadoras del sistema,  $N$ .

Dos posibles implementaciones de la distribución de la rejilla consisten en forzar todas las portadoras a ser portadoras de la rejilla en un símbolo o distribuir las en los símbolos del periodo hasta un máximo de  $N/N_T$  portadoras; con objeto de que en un máximo de  $N_T$  símbolos se haya realizado la medida del ángulo girado en todas las portadoras y para que tras  $N_T$  símbolos se vuelva a realizar un nuevo proceso de medida.

El equipo de cabecera sigue utilizando las

portadoras que están siendo utilizadas como rejilla para transmitir la información que desea (tal y como ocurre en el resto de las portadoras), pero con la particularidad de que está obligado a utilizar la modulación fijada en ellas.

5 Los usuarios, tanto el que es destino de la información enviada en la portadoras de la rejilla como el resto, conocen la modulación empleada en las portadoras y pueden recuperar la información, utilizando esta recepción para realizar la estimación de la velocidad de giro en las

10 portadoras de la rejilla.

El equipo de usuario demodula la información enviada por las portadoras de la rejilla (puesto que conoce la modulación que se usó en ellas, tanto si él es el destino como si no) y estima la desviación angular comparando el punto de la constelación recibida con el punto de la constelación que debió enviarse. Realizando la diferencia entre este ángulo y el calculado anteriormente un número de símbolos antes (dependiendo de los parámetros de configuración de la rejilla) y dividiendo por el número de

15 símbolos entre ambas medidas, se obtiene una estimación de la velocidad de giro de la constelación en la portadora donde se calcularon los ángulos rotados.

En un ejemplo de implementación se puede disponer que el periodo es de 16 símbolos, de forma que cada 16 símbolos todas las portadoras habrán sido alguna

25 vez utilizadas como rejilla; si, por ejemplo, hubiesen en total 32 portadoras, una forma de rejilla sería colocar dos portadoras como rejilla e ir modificando la posición símbolo a símbolo. En este caso la cabecera sigue utilizando esas portadoras para enviar la información, pero

30 modulada con una modulación con bajas necesidades de señal a ruido (por ejemplo QPSK), y los usuarios demodulan la información (siendo indiferente que ellos sean el destino o no, puesto que conocen que se envió en QPSK). Al acabar

35 el periodo, esto es, tras 16 símbolos se tiene una nueva



medida de la cantidad angular girada por todas las portadoras y por tanto una nueva estimación de la velocidad de giro en cada portadora. En este caso, para calcular la velocidad de giro en una portadora, primero se demodulan los símbolos QPSK enviados en esta portadora. El ángulo formado por el punto de la constelación recibido y los ejes coordenados se resta del ángulo del punto de la constelación enviado, con lo que se conoce la desviación angular producida en esa portadora. Cada 16 símbolos se calcula un nuevo ángulo para esa portadora, de manera que la diferencia del ángulo recién calculado y el calculado hace 16 símbolos se divide por 16 para conocer la velocidad de rotación por símbolo. Esta estimación, junto con las anteriores, puede pasar por un filtro paso bajo para eliminar las variaciones debidas a cambios bruscos de canal y reducir el efecto de ruidos sobre la estimación. Para acelerar el proceso de convergencia se pueden realizar promedios en frecuencia de los resultados de varias portadoras.

La corrección mediante el rotor consiste en multiplicar la señal por una exponencial compleja en el dominio frecuencial, es decir a la salida del módulo 13, y más concretamente en el ecualizador. Para simplificar, y puesto que el error en esta fase es pequeño se puede aproximar la parte real de la exponencial compleja a 1 y la parte imaginaria al ángulo estimado en radianes.

El resultado de sacar la media de estas rotaciones de todas las portadoras es

$$-2\pi f_c M(N + \Delta) \frac{\Delta f_r}{f_r + \Delta f_r}$$

Esta media es un estimación del error en frecuencia que puede utilizarse para la corrección fina de este error en frecuencia. Para ello se usaría esta estima-

ción como entrada del elemento corrector de frecuencia, sea éste el remuestreador 27 con sus filtros de remuestreo 12 o el VCXO 28, para conseguir una mayor precisión. En otra realización de la invención, se utiliza, en esta etapa, la  
5 estimación a partir del ángulo de la correlación obtenida por la arcotangente mediante un circuito adecuado para calcular dicha arcotangente, preferentemente un CORDIC 26 tal y como ya fue comentado con anterioridad.

10

20  
21  
22  
23  
24  
25  
26  
27  
28  
29  
30  
31  
32  
33  
34  
35  
36  
37  
38  
39  
40  
41  
42  
43  
44  
45  
46  
47  
48  
49  
50  
51  
52  
53  
54  
55  
56  
57  
58  
59  
60  
61  
62  
63  
64  
65  
66  
67  
68  
69  
70  
71  
72  
73  
74  
75  
76  
77  
78  
79  
80  
81  
82  
83  
84  
85  
86  
87  
88  
89  
90  
91  
92  
93  
94  
95  
96  
97  
98  
99  
100

### REIVINDICACIONES

1.- PROCEDIMIENTO PARA LA SINCRONIZACIÓN EN EL ENLACE DESCENDENTE DE MÚLTIPLES USUARIOS EN UN SISTEMA DE TRANSMISIÓN PUNTO A MULTIPUNTO CON MODULACIÓN OFDM, aplicable en la comunicación bidireccional a través de la red eléctrica entre una cabecera y una pluralidad de usuarios, con medios para añadir y extraer un prefijo cíclico a los símbolos OFDM, la inclusión de interpoladores y diezmadores en los sistemas de transmisión y recepción de los equipos, y traslado en banda digital; y que comprende el envío de secuencias de sincronismo que están intercaladas en el resto de la información que se envía a través de un canal descendente, determinado por un enlace desde la cabecera con los usuarios, para proporcionar en recepción una sincronización en frecuencia y tiempo; se caracteriza porque el procedimiento comprende generar las secuencias de sincronismo mediante dos símbolos de sincronismo idénticos (16), que se transmiten periódicamente desde el equipo de cabecera por el enlace descendente a todos los equipos de usuario, los cuales detectan en recepción dichas secuencias de sincronismo, y a partir de ellas selectivamente estiman y corrigen la frecuencia de muestreo de los convertidores analógicos/digitales (7) previstos en los receptores de los usuarios, o realizan un proceso de remuestreo de la señal digital (sincronización en frecuencia) y simultáneamente estiman el momento en que comienza cada símbolo OFDM (sincronismo temporal).

2.- PROCEDIMIENTO PARA LA SINCRONIZACIÓN EN EL ENLACE DESCENDENTE DE MÚLTIPLES USUARIOS EN UN SISTEMA DE TRANSMISIÓN PUNTO A MULTIPUNTO CON MODULACIÓN OFDM, según reivindicación 1, caracterizado porque la detección de las secuencias de sincronismo se efectúa mediante el maximizado del criterio de máxima verosimilitud, de manera que la sincronización temporal se efectúa a partir del cálculo del máximo de correlación de las muestras de dos símbolos

recibidos, siendo este máximo determinado como el punto medio de la zona plana del pico de correlación, cuyo tamaño en número de muestras es igual al número de muestras de prefijo cíclico sin interferencia entre símbolos (ISI),  
 5 realizándose posteriormente la sincronización en frecuencia mediante el cálculo del ángulo de la correlación en el instante determinado como máximo de correlación.

3.- PROCEDIMIENTO PARA LA SINCRONIZACIÓN EN EL ENLACE DESCENDENTE DE MÚLTIPLES USUARIOS EN UN SISTEMA DE  
 10 TRANSMISIÓN PUNTO A MULTIPUNTO CON MODULACIÓN OFDM, según reivindicación 2, caracterizado porque el máximo de la correlación se calcula mediante la detección de los picos de correlación que sobrepasen un umbral correspondiente a multiplicar la potencia por una constante C, tomando como  
 15 valor de este máximo el punto medio de la zona plana del pico de la correlación cuyo tamaño en número de muestras es igual al número de muestras de prefijo cíclico sin ISI; fijándose el valor de la constante C para minimizar la probabilidad de que se produzca una falsa alarma, calculándose la correlación mediante el siguiente algoritmo:  
 20

$$\gamma(m) = \sum_{k=m}^{m+l-1} r(k) r^*(k+n)$$

y la potencia mediante el siguiente algoritmo;

25

$$\xi(m) = \frac{1}{2} \sum_{k=m}^{m+l-1} (|r(k)|^2 + |r(k+n)|^2) \equiv \sum_{k=m}^{m+l-1} |r(k)|^2$$

donde  $\gamma(m)$  es la correlación en el instante de la muestra m,  $\xi(m)$  la potencia en el instante de la muestra m,  $r(k)$  es  
 30 la muestra recibida en el instante k,  $r^*(k+n)$  es la conjugada de la muestra recibida en k+n,  $n=N+L$  y  $l=N$ , siendo N el número de las muestras de uno de los símbolos de la secuencia de sincronismo y L el número de muestras del prefijo cíclico.

35

4.- PROCEDIMIENTO PARA LA SINCRONIZACIÓN EN EL

ENLACE DESCENDENTE DE MÚLTIPLES USUARIOS EN UN SISTEMA DE TRANSMISIÓN PUNTO A MULTIPUNTO CON MODULACIÓN OFDM, según reivindicaciones 2 y 3, caracterizado porque el cálculo de la correlación y la potencia se realiza de forma iterativa, almacenando las muestras y preferentemente los productos parciales de la muestra actual por la muestra conjugada que llegó N+L muestras antes, para el cálculo de la correlación y la potencia mediante los siguientes algoritmos:

$$\begin{aligned} P(d) &= P(d-1) + (r_d r_{d-(N+L)}^* - r_{d-N} r_{d-(N+L)-N}^*) \\ R(d) &= R(d-1) + |r_d|^2 - |r_{d-N}|^2 \end{aligned}$$

siendo P(d) la correlación, R(d) la potencia,  $r_d$  la muestra actual,  $r_{d-N}$  la muestra que llegó al receptor hace N muestras,  $r_{d-(N+L)}^*$  la compleja conjugada de la muestra recibida hace N+L muestras y  $r_{d-(N+L)-N}^*$  la compleja conjugada de la muestra recibida hace 2N+L muestras.

5.- PROCEDIMIENTO PARA LA SINCRONIZACIÓN EN EL ENLACE DESCENDENTE DE MÚLTIPLES USUARIOS EN UN SISTEMA DE TRANSMISIÓN PUNTO A MULTIPUNTO CON MODULACIÓN OFDM, según reivindicación 3, caracterizado porque se utiliza únicamente la parte real de la correlación para simplificar su cálculo; una vez que el error en frecuencia es menor que un umbral preestablecido.

6.- PROCEDIMIENTO PARA LA SINCRONIZACIÓN EN EL ENLACE DESCENDENTE DE MÚLTIPLES USUARIOS EN UN SISTEMA DE TRANSMISIÓN PUNTO A MULTIPUNTO CON MODULACIÓN OFDM, según reivindicaciones 3 a 5, caracterizado porque la detección de la secuencia de sincronismo se realiza comparando el valor de la correlación con el valor de potencia multiplicado por un valor C para minimizar la probabilidad de falsa alarma, de manera que se busca la secuencia de sincronismo y el momento óptimo de muestreo cuando se da la condición  $|y| > C\xi$ , siendo C un factor que multiplica la potencia para que este producto sea utilizado como umbral.

7.- PROCEDIMIENTO PARA LA SINCRONIZACIÓN EN EL

ENLACE DESCENDENTE DE MÚLTIPLES USUARIOS EN UN SISTEMA DE TRANSMISIÓN PUNTO A MULTIPUNTO CON MODULACIÓN OFDM, según reivindicación 1, caracterizado porque los dos símbolos idénticos de sincronismo están constituidos selectivamente por información fija o pseudoaleatoria.

8.- PROCEDIMIENTO PARA LA SINCRONIZACIÓN EN EL ENLACE DESCENDENTE DE MÚLTIPLES USUARIOS EN UN SISTEMA DE TRANSMISIÓN PUNTO A MULTIPUNTO CON MODULACIÓN OFDM, según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6, caracterizado porque la sincronización de la frecuencia de muestreo y la sincronización en el tiempo de los receptores comprenden una etapa de adquisición y una etapa de seguimiento, comprendiendo la etapa de adquisición la búsqueda de un número determinado de secuencias de sincronismo, la corrección gruesa del error en frecuencia, y el paso a la etapa de seguimiento de ambas sincronizaciones.

9.- PROCEDIMIENTO PARA LA SINCRONIZACIÓN EN EL ENLACE DESCENDENTE DE MÚLTIPLES USUARIOS EN UN SISTEMA DE TRANSMISIÓN PUNTO A MULTIPUNTO CON MODULACIÓN OFDM, según reivindicación 8, caracterizado porque la etapa de adquisición de sincronismo temporal comprende una fase de espera de la detección de una secuencia de sincronismo, y a partir de ella se espera la llegada de un determinado número de símbolos o secuencias de sincronismo más en las posiciones (instantes) esperadas antes de pasar a la etapa de seguimiento, para reducir la probabilidad de adquisición de sincronismo debida a una falsa alarma.

10.- PROCEDIMIENTO PARA LA SINCRONIZACIÓN EN EL ENLACE DESCENDENTE DE MÚLTIPLES USUARIOS EN UN SISTEMA DE TRANSMISIÓN PUNTO A MULTIPUNTO CON MODULACIÓN OFDM, según reivindicaciones 8 Y 9, caracterizado porque tras la adquisición del sincronismo temporal el procedimiento comprende una fase de seguimiento del sincronismo temporal que consiste en detectar las secuencias de sincronismo enviadas por el enlace descendente hacia los usuarios, realizándose

una cuenta del número de secuencias no recibidas, que en el caso de superar cierto límite establecido provoca la vuelta a la fase de adquisición temporal.

5       11.- PROCEDIMIENTO PARA LA SINCRONIZACIÓN EN  
EL ENLACE DESCENDENTE DE MÚLTIPLES USUARIOS EN UN SISTEMA  
DE TRANSMISIÓN PUNTO A MULTIPUNTO CON MODULACIÓN OFDM,  
según reivindicaciones 8 y 10, caracterizado porque en la  
fase de seguimiento del sincronismo temporal se realiza la  
10       modificación del instante en que comienza el símbolo OFDM  
cada vez que llega a una secuencia de sincronismo; efect-  
tuándose esta modificación mediante la variación del  
conjunto de muestras que se aplican a una etapa de trans-  
formación de las señales del dominio del tiempo al dominio  
de la frecuencia prevista en los receptores de los usua-  
15       rios, lo que puede producir un desfase o rotación en las  
constelaciones demoduladas que se corrige mediante una  
ecualización, para lo que además, preferentemente, se  
transmiten secuencias de ecualización tras las secuencias  
de sincronización.

20       12.- PROCEDIMIENTO PARA LA SINCRONIZACIÓN EN  
EL ENLACE DESCENDENTE DE MÚLTIPLES USUARIOS EN UN SISTEMA  
DE TRANSMISIÓN PUNTO A MULTIPUNTO CON MODULACIÓN OFDM,  
según reivindicación 8, caracterizado porque se suprime la  
fase de adquisición del sincronismo de frecuencia en el  
25       caso en el que el oscilador, que es utilizado para propor-  
cionar la frecuencia de muestreo en el convertidor analógi-  
co/digital (7) del receptor, sea suficientemente preciso.

30       13.- PROCEDIMIENTO PARA LA SINCRONIZACIÓN EN  
EL ENLACE DESCENDENTE DE MÚLTIPLES USUARIOS EN UN SISTEMA  
DE TRANSMISIÓN PUNTO A MULTIPUNTO CON MODULACIÓN OFDM,  
según reivindicación 8, caracterizado porque la etapa de  
adquisición del sincronismo de frecuencia se realiza tras  
la etapa de adquisición del sincronismo temporal, y dicha  
etapa comprende la estimación del error de la frecuencia de  
35       muestreo a partir del ángulo de la correlación en el ins-

tante máximo de esta métrica, tomado como el instante situado en medio de la zona plana de máximos de la métrica, según el siguiente algoritmo:

$$\angle \gamma(\theta_{opt}) = -2\pi f_c M(N+L) \left( \frac{\Delta f_s}{f_s + \Delta f_s} \right),$$

siendo M el factor de interpolación y diezmado,  $f_c$  la frecuencia de las portadoras,  $f_s$  es la frecuencia de muestreo y  $\Delta f_s$  el error en la frecuencia de muestreo; comprendiendo además una fase de compensación de este error mediante un elemento corrector de frecuencia, consistente selectivamente en un oscilador controlado por tensión (28) o un remuestreador (27) con sus filtros asociados (12), a partir del anterior algoritmo, calculándose el ángulo de la correlación en el instante en el que esta métrica es máxima, para lo que se calcula el arcotangente de la razón de la parte imaginaria y la parte real de la correlación y obteniéndose  $\Delta f_s$  a partir del algoritmo anteriormente enunciado; repitiéndose estos pasos iterativamente hasta que la estimación de error en frecuencia de muestreo sea menor que cierto umbral.

**14.- PROCEDIMIENTO PARA LA SINCRONIZACIÓN EN EL ENLACE DESCENDENTE DE MÚLTIPLES USUARIOS EN UN SISTEMA DE TRANSMISIÓN PUNTO A MULTIPUNTO CON MODULACIÓN OFDM,** según reivindicaciones 8 y 13, caracterizado porque la etapa de seguimiento del sincronismo de frecuencia consiste en multiplicar la señal recibida por un rotor que compensa la rotación de la constelación en cada portadora en el dominio de la frecuencia, para lo que se calcula la velocidad de giro de la constelación en cada portadora recibida.

**15.- PROCEDIMIENTO PARA LA SINCRONIZACIÓN EN EL ENLACE DESCENDENTE DE MÚLTIPLES USUARIOS EN UN SISTEMA DE TRANSMISIÓN PUNTO A MULTIPUNTO CON MODULACIÓN OFDM,** según reivindicación 14, caracterizado porque para realizar



el cálculo de la velocidad de giro de la constelación de cada portadora en recepción, en la transmisión por el enlace descendente se envía una rejilla, de forma periódica, consistente en que se obliga a la cabecera a utilizar una modulación fija, preferentemente una modulación con bajas necesidades de señal a ruido para su demodulación, en ciertas portadoras denominadas portadoras de la rejilla, cuya posición varía en el tiempo, cuando utiliza estas portadoras para transmitir su información; de forma que los usuarios conozcan la posición de las portadoras de la rejilla para realizar el proceso de monitorización de la calidad de la línea en estas portadoras, al conocer la modulación utilizada en ellas, tanto si el usuario es el destino de la información enviada en estas portadoras de la rejilla como si no lo es; con la particularidad de que los usuarios desconocen a priori la información modulada en las portadoras sean o no estos usuarios el destino de la información.

**16.- PROCEDIMIENTO PARA LA SINCRONIZACIÓN EN EL ENLACE DESCENDENTE DE MÚLTIPLES USUARIOS EN UN SISTEMA DE TRANSMISIÓN PUNTO A MULTIPUNTO CON MODULACIÓN OFDM,** según reivindicación 15, caracterizado porque se fija el periodo máximo de la rejilla a partir de la rotación máxima en la portadora con mayor frecuencia, para no producir desbordamientos, de forma que si  $N_r$  es el período de la rejilla en símbolos, esto es, el número máximo de símbolos entre dos medidas consecutivas del ángulo en una determinada portadora, se distribuye la rejilla sobre las  $N$  portadoras del sistema exigiendo que todas las portadoras pertenezcan a la rejilla una vez durante los  $N_r$  símbolos y que:

$$\sum_{i=1}^{N_r} N_i = N$$

en donde el sumatorio durante  $N_r$  símbolos del número de portadoras pertenecientes a la rejilla en cada símbolo es

igual al número total de portadoras del sistema, siendo  $N_i$  el número de portadoras que pertenecen a la rejilla en el símbolo  $i$ ; para que tras  $N_i$  símbolos se obtenga una nueva medida de la velocidad de giro en cada una de las portadoras.

17.- PROCEDIMIENTO PARA LA SINCRONIZACIÓN EN EL ENLACE DESCENDENTE DE MÚLTIPLES USUARIOS EN UN SISTEMA DE TRANSMISIÓN PUNTO A MULTIPUNTO CON MODULACIÓN OFDM, según reivindicaciones 15 y 16, caracterizado porque para realizar el cálculo de la velocidad de giro en recepción el usuario demodula la información enviada por las portadoras de la rejilla al conocer a priori la modulación utilizada en las mismas, siendo o no siendo este usuario el destino de la información enviada por la cabecera, y calcula el ángulo de giro respecto a la constelación transmitida; de forma que al comparar este ángulo con el cálculo anterior para las mismas portadoras y dividir por el tiempo transcurrido entre la estimación de ambos ángulos, determina la velocidad de rotación en esas portadoras.

18.- PROCEDIMIENTO PARA LA SINCRONIZACIÓN EN EL ENLACE DESCENDENTE DE MÚLTIPLES USUARIOS EN UN SISTEMA DE TRANSMISIÓN PUNTO A MULTIPUNTO CON MODULACIÓN OFDM, según reivindicaciones 15 y 17, caracterizado porque en la etapa de seguimiento se estima el error en frecuencia mediante la media del ángulo girado por la constelación de cada una de las portadoras en un símbolo y se corrige este error mediante el elemento corrector de frecuencia (27, 28), siendo esta media equivalente al ángulo de la correlación.

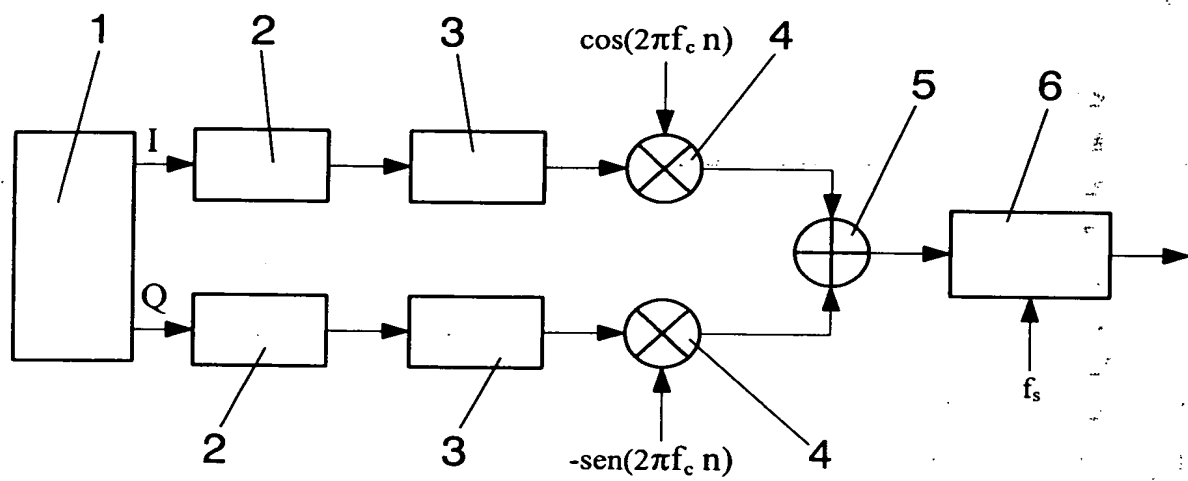
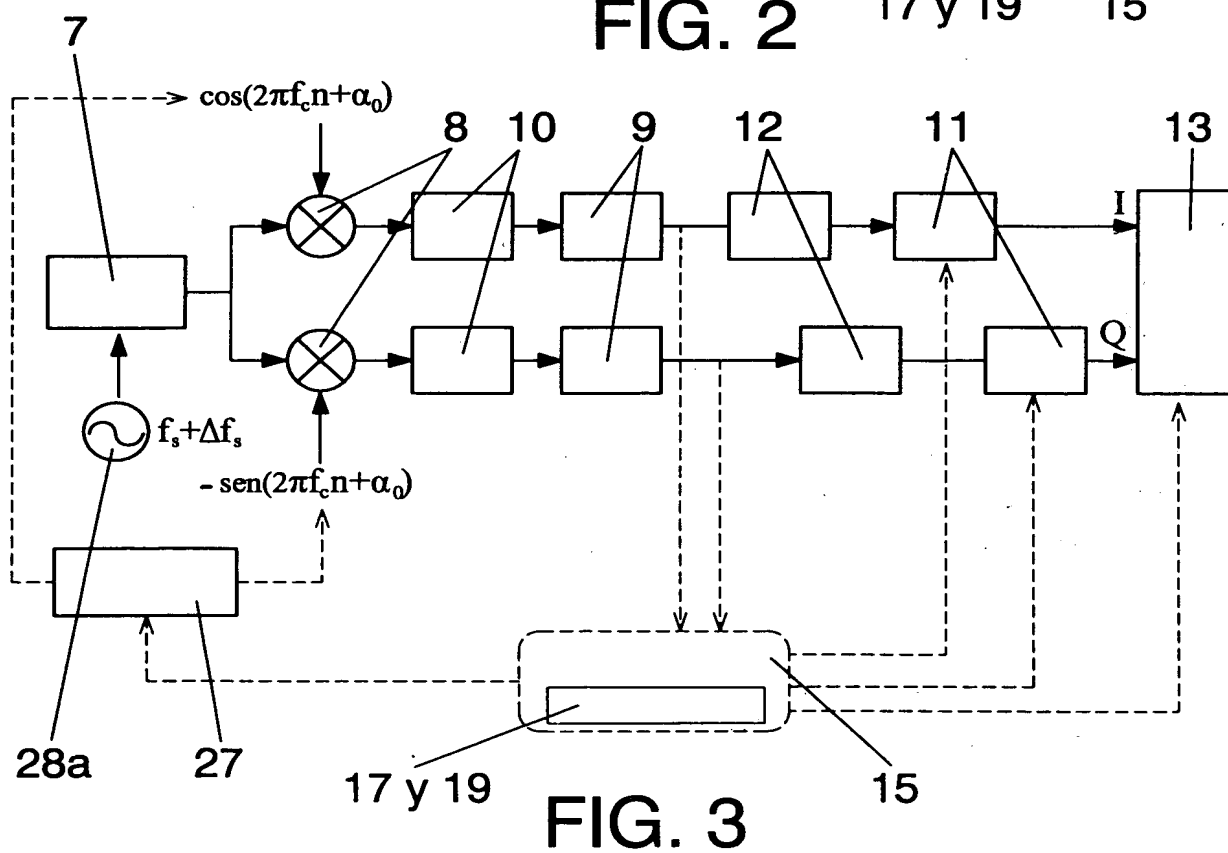
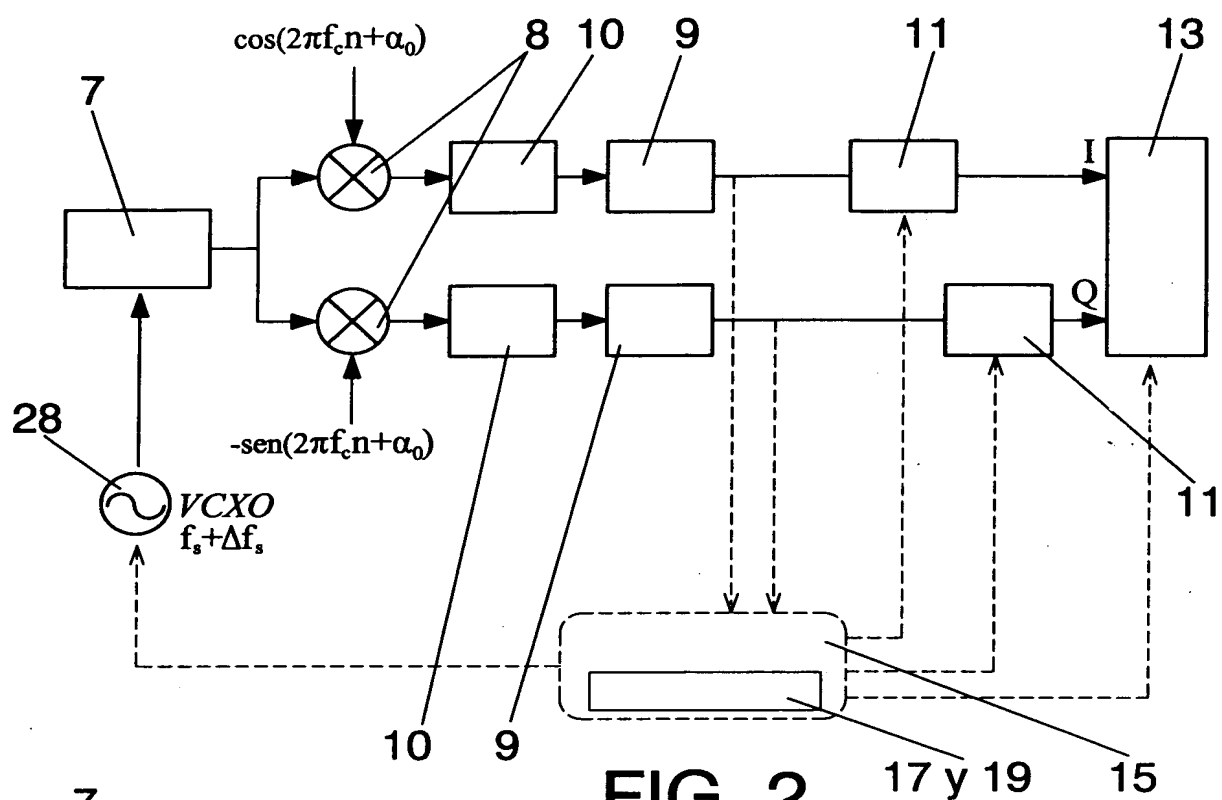


FIG. 1



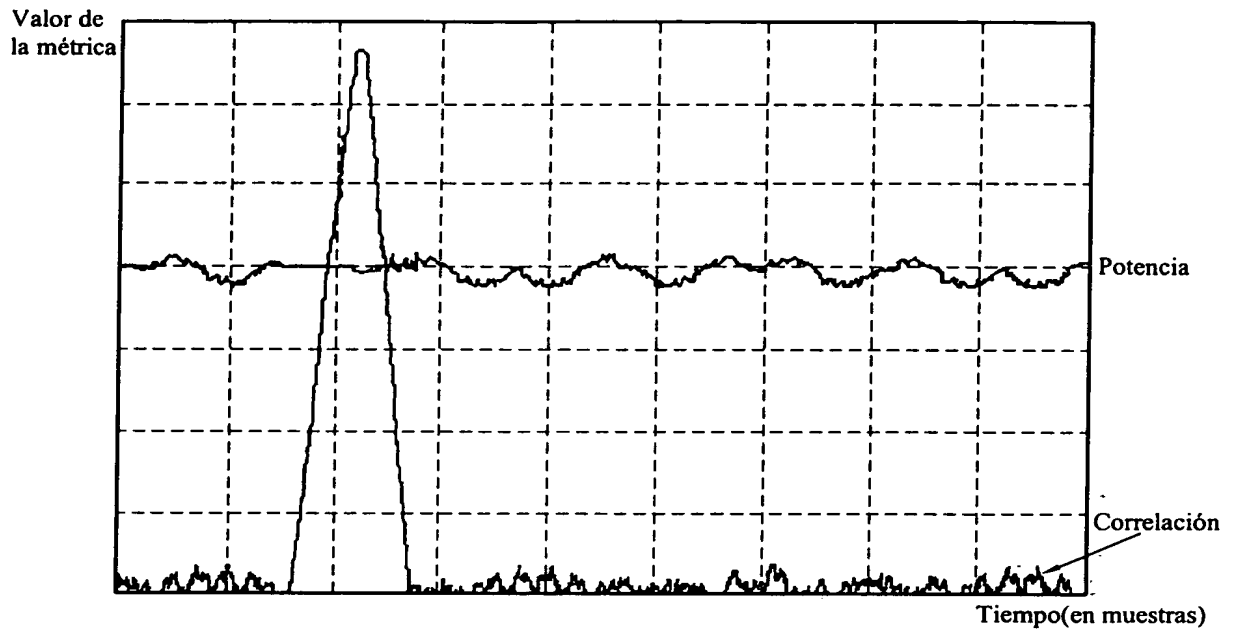


FIG. 4

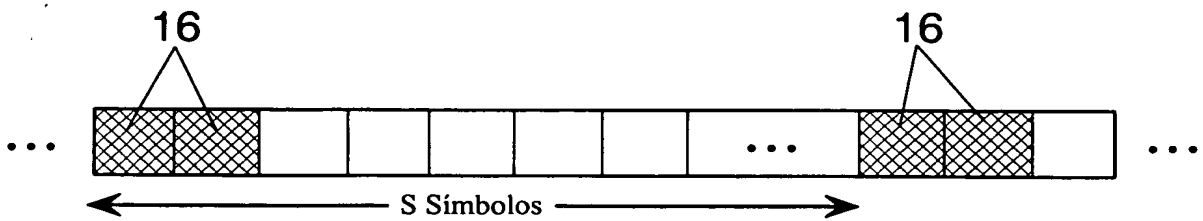


FIG. 5

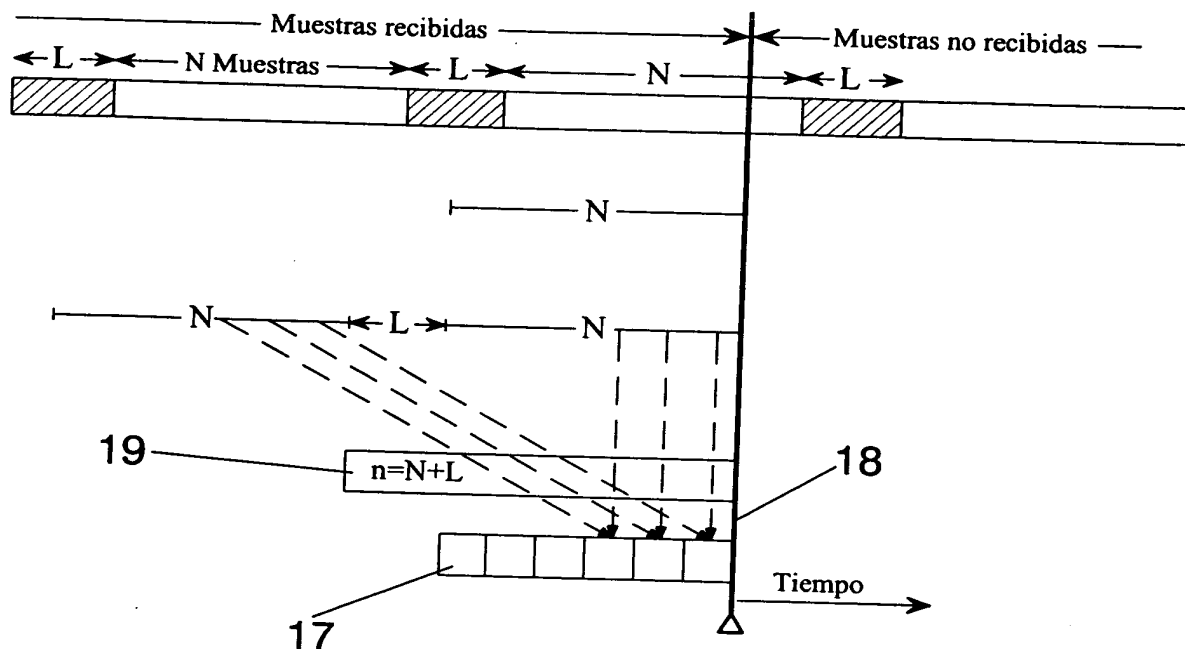


FIG. 6

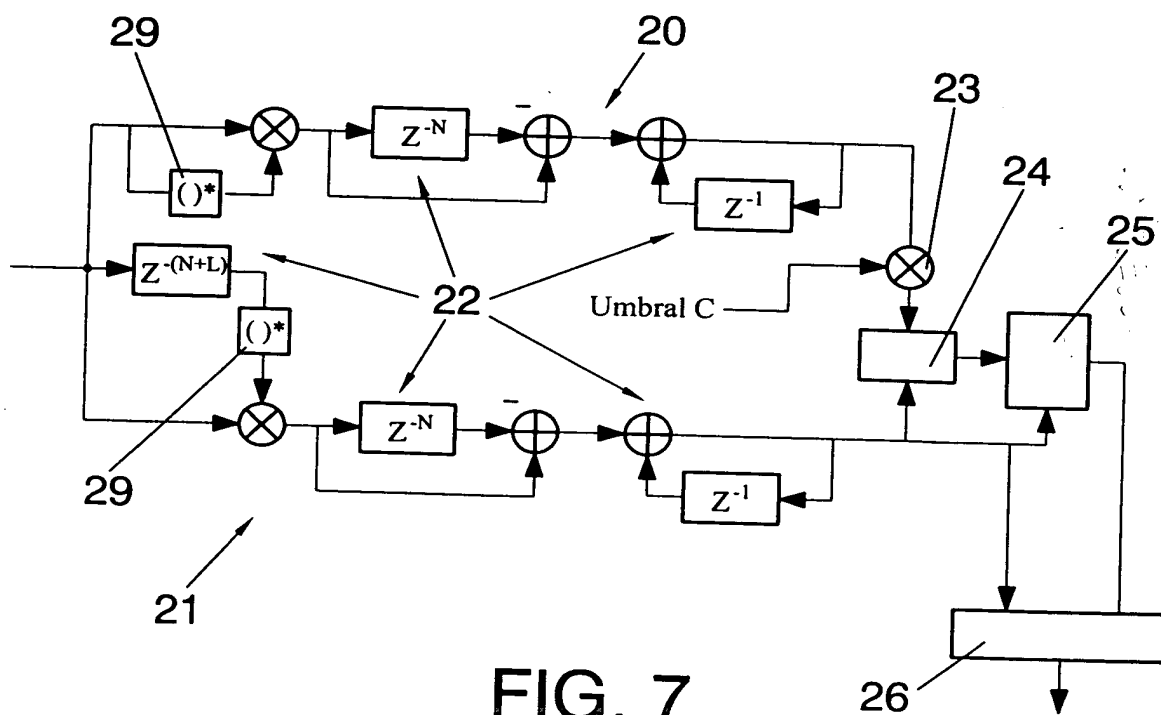


FIG. 7

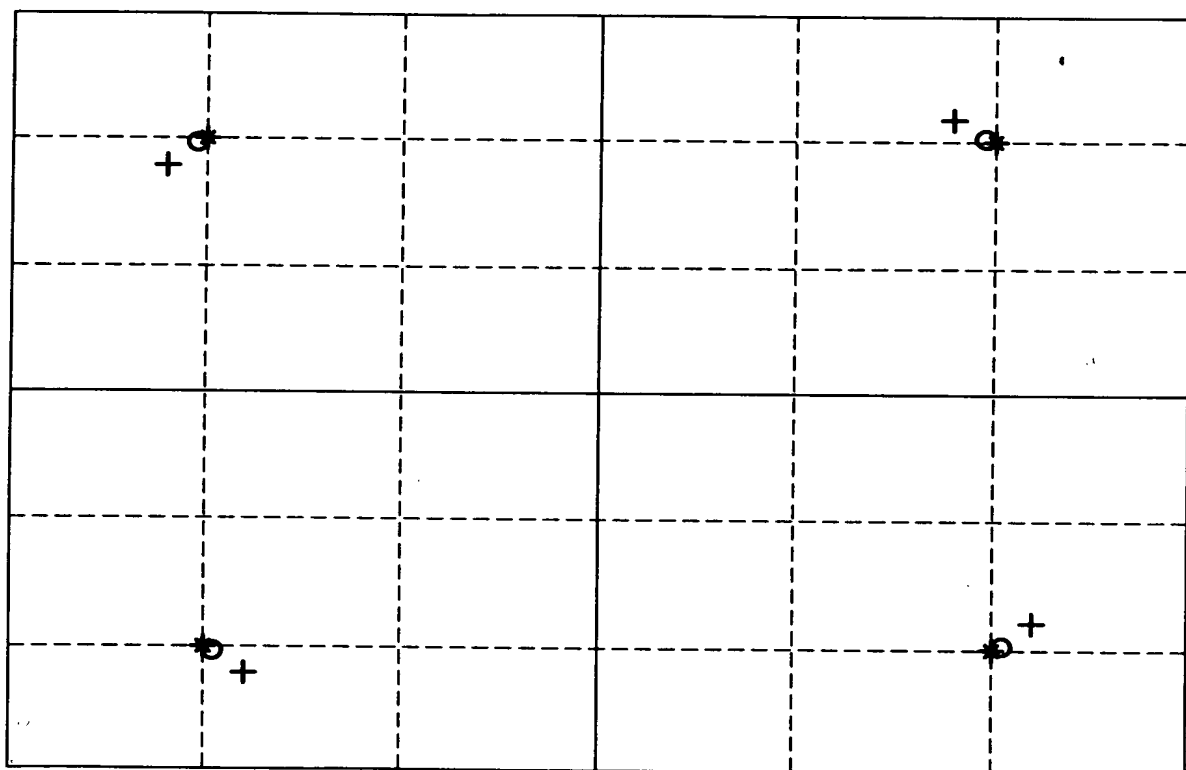


FIG. 8



Handwritten text, possibly a signature or date, located in the bottom right corner of the page.